锌添加水平对京红 1 号蛋鸡产蛋高峰期组织器官锌沉积和胫骨指标的影响

郑爱娟[1]　陈　将[1]　蔡辉益[1,2]　陈志敏[1]　常文环[1]　张　姝[1]　邓雪娟[2]　刘国华[1*]

(1. 中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点开放实验室，北京 100081；2. 生物饲料开发国家工程研究中心，北京 100081）

摘　要：本试验通过在基础饲粮中添加不同水平的锌，研究其对京红 1 号蛋鸡产蛋高峰期组织器官锌沉积和胫骨指标的影响。选择 20 周龄 540 只健康产蛋高峰期的京红 1 号蛋鸡，随机分为 6 组，每组 6 个重复，每个重复 15 只鸡。对照组饲喂基础饲粮（含锌 25 mg/kg），试验组饲喂在基础饲粮基础上分别添加 25、50、75、100 和 125 mg/kg 锌（以一水硫酸锌为锌源）的试验饲粮，预试期 2 周，正试期 24 周。结果显示：1）饲粮中添加不同水平的锌显著或极显著提高了京红 1 号蛋鸡 33 周龄末血清锌含量（P<0.01 或 P<0.05)），但对 46 周龄末血清锌含量无显著影响（P>0.05）。2）饲粮添加不同水平的锌极显著影响了京红 1 号蛋鸡 46 周龄末肝脏锌含量（P<0.01），且肝脏锌含量随锌添加水平的升高而增加，但对骨骼肌和胰腺锌含量无显著影响（P>0.05）。3）饲粮添加不同水平的锌对京红 1 号蛋鸡 46 周龄末胫骨指标（胫骨重、无脂胫骨重、胫骨灰分重及胫骨锌和胫骨灰锌含量）未产生显著影响（P>0.05）。4）饲粮添加不同水平的锌极显著影响了京红 1 号蛋鸡 46 周龄末粪便锌含量和锌表观利用率（P<0.01），粪便锌含量随着锌添加水平的升高而增加，而锌表观利用率则随着锌添加水平的升高而降低。综合考虑各因素，以一水硫酸锌为锌源，产蛋高峰期京红 1 号蛋鸡基础饲粮（含锌 25 mg/kg）中锌适宜添加水平为 75 mg/kg。

关键词：硫酸锌；蛋鸡；锌沉积；胫骨指标

中图分类号：S816　　　　　文献标识码：A　　　　　文章编号：

收稿日期：2018-04-10

基金项目：家禽产业技术体系北京市创新团队（CARS-PSTP）；中国农业科学院科技创新工程协同创新任务（CAAS-XTCX2016015）

作者简介：郑爱娟（1977—），女，河北唐山人，博士，动物营养与饲料科学专业。E-mail: zhengaijuan@caas.cn

*通信作者：刘国华，研究员，博士生导师，E-mail: liuguohua@caas.cn

锌是禽类生长发育和代谢活动所必需的金属元素之一[1]，锌是多种酶的组成成分或激活剂，且参与多种激素的合成及作用，不仅影响细胞分裂、生长和再生，而且与核酸、脂类、蛋白质、维生素和其他矿物微量元素合成代谢有关[2]。因此，锌对家禽的生长发育、生产性能、繁殖和免疫功能等方面均有重要作用[3]。现代禽业生产中，通常在家禽饲粮中添加锌以促进家禽的生长发育、增强其免疫功能，甚至通过高剂量添加以生产富含锌的保健品[4]。蛋鸡饲粮中超标添加微量元素，使生产性能达到一定水平之后，微量元素通过各组织器官的吸收和排泄，最后在鸡蛋和排泄物中蓄积。另外，蛋鸡长时间采食高锌饲粮会导致锌在其肝脏中浓缩蓄积，进而造成其生产性能下降，在其体内蓄积的锌会随着排泄物排出，造成环境污染[5]。研究表明，肉仔鸡排泄物中锌含量大约是饲粮中的 4 倍[6]。后备鸡饲粮中微量元素含量和家禽日龄是影响微量元素在排泄物中含量的重要因素[7]。蛋鸡饲粮中适宜的锌添加水平可以缓解锌过量添加造成的排泄量增加。微量元素的高剂量使用不仅会增加家禽生产成本，浪费资源，造成环境污染，而且会引起蛋鸡代谢紊乱，进而影响其生产性能和产品品质。因此，研究蛋鸡饲粮中锌的适宜添加水平，使其既能满足蛋鸡的产蛋性能、免疫功能的需要又能保证生态养殖已然迫在眉睫。有研究表明，衡量锌利用状况的最敏感指标是骨锌含量[8]。肉鸡试验显示，骨胳、肝脏、肾脏锌含量是最敏感指标[9]。肉鸡胫骨锌含量不仅对饲粮锌添加水平反映敏感，而且与肝脏、胰脏、肌肉锌含量显著相关[10]。已有研究表明，饲粮中添加 20～40 mg/kg 锌可显著改善肉鸡肝脏、胰脏和胫骨中锌含量[11-13]。Dewar 等[12]对火鸡的研究显示，胫骨锌含量在饲粮锌含量为 30 mg/kg 时达到饱和值。但是关于京红 1 号蛋鸡产蛋高峰期饲粮中锌的适宜添加水平和组织锌代谢的研究较少。本试验以一水硫酸锌为锌源，拟研究实用饲粮条件下锌添加水平对京红 1 号蛋鸡产蛋高峰期组织器官锌沉积和胫骨指标的影响，为蛋鸡生产合理添加锌提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 锌来源

试验用锌源为一水硫酸锌（饲料级），含锌量 35.5%，购自北京精准动物营养研究中心。

1.2　试验设计

将 540 只 20 周龄的京红 1 号蛋鸡随机分为 6 组，每组 6 个重复，每重复 15 只。对照组采用含锌量为 25 mg/kg 的玉米-豆粕型基础饲粮（T1，未添加锌），其组成及营养水平见表 1。在基础饲粮中添加不同水平的锌配成 5 种试验饲粮，饲喂 5 个试验组蛋鸡，具体试验设计见表 2。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (air dry basis)　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	66.25
大豆粕 Soybean meal	22.84
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.38
石粉 Limestone	8.90
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.10
食盐 NaCl	0.30
氯化胆碱 Choline chloride	0.10
预混料 Premix[1)]	0.13
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
代谢能 ME/(MJ/kg)	11.08
粗蛋白质 CP	15.31
钙 Ca	3.58
有效磷 AP	0.32
赖氨酸 Lys	0.84
蛋氨酸 Met	0.35
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.68
水分 Moisture	10.61
锌 Zn/(mg/kg)	25.00
粗脂肪 EE	2.83
粗纤维 CF	14.15
粗灰分 Ash	10.75

[1)]预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the diet：VA 10 000 IU，VD_3 3000 IU，VE 30 mg，VK_3 1 mg，VB_1 1 mg，VB_2 6 mg，VB_3 10 mg，VB_5 40 mg，

VB_6 3 mg，VB_{11} 0.3 mg，VB_{12} 0.01 mg，生物素 biotin 0.1 mg，Cu (as copper sulfate) 8 mg，Fe (as ferrous sulfate) 60 mg，Mn (as manganese sulfate) 60 mg，Se (as sodium selenite) 0.3 mg，I (as potassium iodide) 0.7 mg。

[2)]水分、锌和粗蛋白质为实测值，其余为计算值。Moisture, Zn and CP were measured values, while the others were calculated values.

表 2　试验设计

Table 2　Experimental design　　mg/kg

组别 Groups	饲粮处理 Diet treatment	饲粮锌含量计算值 Dietary Zn content (calculated value)	饲粮锌含量实测值 Dietary Zn content (measured value)
T1	基础饲粮	25	24.90
T2	基础饲粮+25 mg/kg 锌	50	48.98
T3	基础饲粮+50mg/kg 锌	75	76.07
T4	基础饲粮+75 mg/kg 锌	100	98.67
T5	基础饲粮+100 mg/kg 锌	125	127.01
T6	基础饲粮+125 mg/kg 锌	150	148.96

1.3　饲养管理

试验于 2017 年 1—8 月在中国农业科学院饲料研究所通州试验基地进行。蛋鸡采用立体双面 3 层全层叠鸡笼笼养，16 h 光照，光照强度 10 lx。乳头式饮水器供水，自由采食饲粮。试验期间蛋鸡接种 1 次禽流感疫苗。鸡舍卫生管理按常规进行。试验预试期 2 周，进行健康观察，各组平均产蛋率为 94%时，预试期结束，进入正式试验，正试期 24 周。

1.4　测定指标及方法

1.4.1　血清锌含量测定

试验中期（33 周龄末）和试验末期（46 周龄末），每个重复取 1 只蛋鸡，翅下静脉采血，置于干燥真空采血管，制备血清，测定血清锌含量。血清锌含量采用 PAPS 显色剂法测定，所用试剂盒购自南京建成生物工程研究所。

1.4.2　组织器官锌含量测定

于46周龄末每个重复随机选取3只蛋鸡，取骨骼肌（胸肌）、肝脏、胰腺和胫骨，测定肝脏、骨骼肌、胰腺和胫骨锌含量。骨骼肌、胰腺和肝脏用1：10（质量体积比）的缓冲溶液研磨匀浆后，用日立7600全自动分析仪，采用PAPS显色剂法测定。胫骨经105 ℃烘干24 h，用无水乙醇浸泡48 h，在Soxhlet装置中用无水乙醚抽提48 h后再烘干（105 ℃，10 h），制成绝干样，称为无脂干重；再在550 ℃马福炉中灰化18 h，冷却后溶解于1:60（体积比）稀盐酸中，采用定量滤纸过滤，用的稀盐酸定容至50 mL，然后用稀盐酸稀释成适当浓度，用火焰原子吸收分光光度计测定胫骨灰锌含量，并换算为胫骨锌含量。

1.4.3　锌表观利用率

饲粮和粪便样品中酸不溶性灰分含量的测定：称取约3 g饲粮或粪便样品置于500 mL高脚烧杯中，注入50 mL 4 mol/L盐酸溶液，静置至泡沫消失后，将盛样品的高脚烧杯放在电热板上，慢慢煮沸30 min，用定量滤纸过滤，并用热蒸馏水冲洗至无酸性为止。把残渣和滤纸一块转移至已知恒重的坩埚内，105 ℃烘干后于电炉上炭化至无烟，然后于马福炉中烧至灰白色，干燥器中冷却30 min后称重，再于马福炉中烧30 min至恒重，减去空坩埚重即得酸不溶灰分重，计算酸不溶性灰分含量。饲粮和粪便样品中锌含量的测定：准确称取一定量饲粮或粪便样品后，于电炉上炭化至无烟，然后在马福炉中烧至恒重后，溶解于稀盐酸中，然后参照胫骨灰锌含量测定的后续步骤测定。

锌表观利用率（%）=[1-（饲粮中酸不溶性灰分含量/粪便中酸不溶性灰分含量）×（粪便中锌含量/饲粮中锌含量）]×100。

1.5　统计分析

采用SPSS 17.0软件的单因子方差分析程序进行分析，因子显著性用*P*值表示。对主效应显著的指标进行LSD多重比较。采用曲线估计（curve estimate）模块对锌添加水平（*X*）与组织器官和粪便锌含量以及锌表观利用率进行线性和二次模型回归分析，$P<0.05$为显著

差异，*P*<0.01 为极显著差异。用二次曲线的拐点估测最适锌添加水平。

2 结 果

2.1 锌添加水平对京红 1 号蛋鸡产蛋高峰期血清锌含量的影响

由表 3 可知，，饲粮中添加 25 mg/kg 以上的锌显著提高了 33 周龄末京红 1 号蛋鸡血清锌含量，其中添加 125 mg/kg 锌组（T6 组）血清锌含量最高，极显著高于对照组（T1 组）和添加 25 mg/kg 锌组（T2 组）（*P*<0.01），但与添加 50（T3 组）、75 mg/kg（T4 组）和 100 mg/kg 锌组（T5 组）无显著差异（*P*>0.05）。饲粮中添加不同水平的锌对 46 周龄末京红 1 号蛋鸡血清锌含量无显著影响（*P*>0.05）。

表 3 锌添加水平对京红 1 号蛋鸡产蛋高峰期血清锌含量的影响

Table 3 Effects of zinc supplemental level on serum zinc content of *Jinghong* No.1 layer hens during laying peak period μmol/L

组别 Groups	血清锌含量 Serum zinc content	
	33 周龄末 The end of 33 weeks of age	46 周龄末 The end of 46 weeks of age
T1	46.24^{Bc}	60.60
T2	55.68^{Bb}	63.90
T3	67.74^{ABa}	69.92
T4	71.14^{ABa}	67.92
T5	66.83^{ABa}	60.02
T6	73.31^{Aa}	63.68
集合标准误 Pooled SEM	2.107	1.537
P 值 *P*-value		
处理 Treatment	0.003	0.378
线性回归 Linear regression	<0.001	0.956
二次回归 Quadratic regression	0.001	0.304

同列数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著（*P*>0.05），不同小写字母表示差异显著(*P*<0.05)，不同大写字母表示差异极显著(*P*<0.01)。下表同。

In the same column, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), and with different capital letter superscripts mean extremely significant difference (P<0.01). The same as below.

锌添加水平（x）和京红 1 号蛋鸡 33 周龄末血清锌含量（y）有极显著的线性或二次回归关系（P<0.01），其回归方程分别为：y=0.151x+52.715(R^2=0.332)，y=-0.001x^2+0.287x+50.452 (R^2=0.355)。二次回归预测，当锌添加水平为 143.5 mg/kg 时，33 周龄末京红 1 号蛋鸡血清锌含量达到最大值。锌添加水平和 46 周龄末京红 1 号蛋鸡血清锌含量无显著的线性或二次回归关系（P>0.05）。

2.2 锌添加水平对京红 1 号蛋鸡产蛋高峰期组织器官锌含量的影响

由表 4 可知，饲粮中添加不同水平锌对京红 1 号蛋鸡 46 周龄末骨骼肌和胰腺锌含量无显著影响（P>0.05），但对肝脏锌含量有极显著影响（P<0.01）。与对照组相比，饲粮中添加 25～125 mg/kg 锌极显著提高了肝脏锌含量（P<0.01），添加 25、50、75 和 100 mg/kg 锌组之间差异不显著（P>0.05），但添加 125 mg/kg 锌组肝脏锌含量显著高于其他添加水平组（P<0.05）。

表 4 锌添加水平对京红 1 号蛋鸡产蛋高峰期组织锌含量的影响

Table 4 Effects of zinc supplemental level on tissue and organ zinc content of *Jinghong* No.1 layer hens during laying peak period mmol/g

组别 Groups	肝脏锌含量 Liver zinc content	骨骼肌锌含量 Muscle zinc content	胰腺锌含量 Pancreas zinc content
T1	2.983^{Bc}	4.917	2.250
T2	7.067^{Ab}	3.583	2.783
T3	6.200^{Ab}	2.950	3.000
T4	5.667^{Ab}	2.967	2.750
T5	6.567^{Ab}	3.233	2.317
T6	9.983^{Aa}	3.283	2.917
集合标准误 Pooled SEM	0.482	0.241	0.103
P 值 *P*-value			
处理 Treatment	<0.001	0.162	0.171
线性回归 Linear regression	<0.001	0.062	0.435

二次回归 Quadratic regression	0.002	0.022	0.466

锌添加水平（x）和京红 1 号蛋鸡 46 周龄末肝脏锌含量（y）有极显著的线性或二次回归关系（$P<0.01$），其回归方程分别为：$y=0.038x+4.056$（$R^2=0.318$），$y=0.000\ 1x^2+0.024x+4.279$ ($R^2=0.322$)。线性回归预测，随着饲粮中锌添加水平的升高，肝脏锌含量逐渐增加。锌添加水平（x）和京红 1 号蛋鸡 46 周龄末骨骼肌锌含量（y）有显著的二次回归关系（$P<0.05$），其回归方程为：$y=0.000\ 3x^2-0.048x+4.772$ ($R^2=0.207$)。二次回归预测，当锌添加水平为 80 mg/kg 时，京红 1 号蛋鸡 46 周龄末骨骼肌锌含量最低。

2.3 锌添加水平对京红 1 号蛋鸡产蛋高峰期胫骨指标的影响

由表 5 可知，饲粮中锌添加水平对京红 1 号蛋鸡 46 周龄末胫骨重、无脂胫骨重、胫骨灰分重及胫骨锌和胫骨灰锌含量均无显著影响（$P>0.05$）。锌添加水平和京红 1 号蛋鸡 46 周龄末胫骨重、无脂胫骨重、胫骨灰分重及胫骨锌和胫骨灰锌含量均无显著的线性或二次回归关系（$P>0.05$）。

表 5 锌添加水平对京红 1 号蛋鸡产蛋高峰期胫骨指标的影响

Table 5 Effects of zinc supplemental level on tibia indexes of *Jinghong* No.1 layer hens during laying peak period

组别 Groups	胫骨重 Tibia weight/g	无脂胫骨重 Fat free weight/g	胫骨灰分重 Tibia ash weight/g	胫骨锌含量 Tibia zinc content/%	胫骨灰锌含量 Tibia ash zinc content/%
T1	7.190	5.097	2.994	0.025	0.060
T2	7.358	5.551	3.311	0.027	0.061
T3	7.303	5.475	3.115	0.029	0.068
T4	6.910	5.205	3.036	0.029	0.066
T5	7.497	5.420	3.188	0.026	0.061
T6	6.870	5.193	3.043	0.027	0.061
集合标准误 Pooled SEM	0.115	0.079	0.055	0.001	0.001
P 值 *P*-value					
处理 Treatment	0.622	0.506	0.608	0.218	0.201
线性回归 Linear	0.461	0.962	0.894	0.422	0.719

regression					
二次回归 Quadratic regression	0.688	0.461	0.774	0.073	0.079

2.4　锌添加水平对京红 1 号蛋鸡产蛋高峰期锌表观利用率的影响

由表 6 可知，添加 125 mg/kg 锌组蛋鸡粪便锌含量极显著高于对照组（P<0.01），显著高于添加 25、50 和 75 mg/kg 锌组（P<0.05），但与添加 100 mg/kg 锌组无显著差异（P>0.05）。饲粮添加不同水平的锌不同程度地降低了京红 1 号蛋鸡 46 周龄末锌表观利用率，其中添加 100 和 125 mg/kg 锌组极显著低于对照组和添加 25 mg/kg 锌组（P<0.01），而添加 100 和 125 mg/kg 锌组之间无显著差异（P>0.05）。

表 6　锌添加水平对京红 1 号蛋鸡产蛋高峰期粪便锌含量和锌表观利用率的影响

Table 6　Effects of zinc supplemental level on feces zinc content and zinc apparent availability of *Jinghong* No.1 layer hens during laying peak period　%

组别 Groups	粪便锌含量 Feces zinc content	锌表观利用率 Zinc apparent availability
T1	0.013^{Bd}	44.67^{Aa}
T2	0.024^{ABcd}	44.53^{Aa}
T3	0.028^{ABcd}	35.91^{ABb}
T4	0.027^{ABbc}	31.38^{ABb}
T5	0.030^{Aab}	28.81^{Bb}
T6	0.032^{Aa}	21.45^{Bc}
集合标准误 Pooled SEM	0.004	0.206
P 值 *P*-value		
处理 Treatment	0.003	<0.001
线性回归 Linear regression	0.006	<0.001
二次回归 Quadratic regression	0.011	<0.001

锌添加水平（x）和京红 1 号蛋鸡 46 周龄末粪便锌含量（y）和锌表观利用率（y）有显著的线性或二次回归关系（P<0.05），其回归方程分别为：y=0.000 014x^2-0.000 2x+0.015 (R^2=0.449)， y=0.000 49x+0.026 （ R^2=0.385 ）； y=-0.000 34x^2-0.149x+45.733 (R^2=0.814)，

y=-0.192x+46.44（R^2=0.810）。线性回归预测，随着饲粮中锌添加水平的升高，粪便锌含量逐渐增加，而锌表观利用率逐渐降低。

3 讨 论

3.1 锌添加水平对京红 1 号蛋鸡产蛋高峰期血清锌含量的影响

饲粮中的锌被吸收后进入血液后，与血液中的蛋白质络合，而后转运至全身的各个组织器官中。家禽对锌的吸收量受到小肠黏膜细胞的调节和控制[10]。有研究表明，随着饲粮中锌的添加水平的升高，蛋鸡血清锌含量也随之上升，但是不宜达到稳定水平，同时建议用血清锌含量作为蛋鸡体内锌的营养评价指标[14]。本试验结果显示，在 33 周龄末，随着饲粮中锌添加水平的升高，京红 1 号蛋鸡血清锌含量总体呈升高趋势；但是在 46 周龄末，不同添加水平的锌未显著影响血清锌含量。这可能与随着饲喂时间的增加，锌对蛋鸡的影响效果降低有关。46 周龄末血清锌含量结果与张军霞等[15]在 18 周龄商品代伊莎褐育成母鸡上和虞泽鹏等[16]在肉仔鸡上得出的饲粮中添加锌并未显著提高血清锌含量的结果一致。

3.2 锌添加水平对京红 1 号蛋鸡产蛋高峰期组织器官锌沉积和胫骨指标的影响

本试验结果显示，饲粮中添加不同水平的锌对京红 1 号蛋鸡 46 周龄末肝脏锌含量有极显著影响，肝脏锌含量随着锌添加水平的升高而增加。这一结果与张军霞等[15]在商品代伊莎褐育成母鸡饲粮中添加 60 和 180 mg/kg 锌后得出的肝脏锌含量增加的结果一致。本试验结果表明，饲粮添加不同水平的锌对京红 1 号蛋鸡 46 周龄末胫骨锌、胫骨灰锌、骨骼肌锌和胰腺锌含量均无显著影响。但是，张军霞等[15]在育成母鸡饲粮中添加 180 mg/kg 锌后显著提高了胫骨锌含量。上述研究结果不一致的原因可能是育成阶段蛋鸡胫骨沉积锌的能力强于产蛋阶段。此外，本试验结果显示，饲粮添加不同水平的锌对胫骨重、无脂胫骨重和胫骨灰分重均无显著影响。他人报道也显示，在低锌基础饲粮（含锌 10.5 mg/kg）中分别添加 10、30、50、70 和 90 mg/kg 锌对肉仔鸡胫骨重无显著影响[10]。本试验回归分析结果显示，肝脏锌含量随饲粮锌添加水平的升高呈线性或二次曲线增加。

3.3 锌添加水平对京红 1 号蛋鸡产蛋高峰期锌表观利用率的影响

饲粮锌主要在十二指肠吸收，空肠也能吸收一部分。动物体内的锌主要是由粪便排出，经由尿液排出的锌极少。粪便中的锌大部分是未经吸收的饲粮锌，内源性锌所占的比例极少。内源性锌主要随着胰液排出，其次随胆汁排出。锌的表观利用率受多种因素的影响，如矿物元素锰[4]和铁，维生素 A[17]等以及内源锌。本试验结果显示，饲粮中添加不同水平的锌极显著影响了京红 1 号蛋鸡 46 周龄末粪便锌含量和锌表观利用率。经线性回归预测，随着饲粮龄中锌添加水平的升高，粪便锌含量逐渐增加，而锌表观利用率逐渐降低。

4 结 论

综合考虑组织器官锌沉积和胫骨指标，以一水硫酸锌为锌源，产蛋高峰期京红 1 号蛋鸡基础饲粮（含锌 25 mg/kg）中锌适宜添加水平为 75 mg/kg。

参考文献：

[1] BATAL A B,PARR T M,BAKER D H.Zinc bioavailability in tetrabasic zinc chloride and the dietary zinc requirement of young chicks fed a soy concentrate diet[J].Poultry Science,2001,80(1):87–90.
[2] VALLEE B L,AULD D S.Zinc coordination,function,and structure of zinc enzymes and other proteins[J].Biochemistry,1990,29(24):5647–5659.
[3] BERG J M,SHI Y Y.The galvanization of biology:a growing appreciation for the roles of zinc[J].Science,1996,271(5252):1081–1085.
[4] 安晓芳,姚军虎,韩进诚,等.锰、铜、锌、铁添加水平对产蛋鸡生产性能和养分表观利用率的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2007,35(3):38–42,48.
[5] 安晓芳.产蛋期添加锰、铜、锌对生产性能、养分利用率及部分血液生化指标的影响[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2006.
[6] KIM W K,PATTERSON P H.Effects of dietary zinc supplementation on broiler performance and nitrogen loss from manure[J].Poultry Science,2004,83(1):34–38.
[7] MOHANNA C,NYS Y.Influence of age,sex and cross on body concentrations of trace elements (zinc,iron,copper and manganese) in chickens[J].British Poultry Science,1998,39(4):536–543.
[8] ROBERSON K D,EDWARDS H M,Jr.Effects of 1,25-dihydroxycholecalciferol and phytase on zinc utilization in broiler chicks[J].Poultry Science,1994,73(8):1312–1326.
[9] HENRY P R.Zinc on tussue mineral concentration as a measure of zinc bioavaili-ability in chicks[J].Nutrition Reports International,1987,35(1):15–23.
[10] 李杰.饲粮锌水平对肉鸡组织锌含量的影响[J].中国动物营养学报,1994,6(2):45–49,55.
[11] MCLAREN D S.Zinc metabolism in the chick[J].Nutrition Reviews,1964,22(10):309–311.
[12] DEWAR W A,DOWNIE J N.The zinc requirements of broiler chicks and turkey poults fed on purified diets[J].British Journal of Nutrition,1984,51(3):467–477.
[13] 王安,单安山,李杰.纤维饲料、锌对肉仔鸡组织器官矿物元素浓度的影响[J].饲料研究,1990(8):2–5.
[14] SCHWARZ F J,KIRCHGEßNER M.Untersuchungen zur homöostatischen regulation des zink-stoffwechsels anhand von zink-infusionen[J].Research in Experimental Medicine,1977,170(3):241–251.
[15] 张军霞,李发弟,郝正里,等.饲粮锌对蛋鸡生产性能及生殖激素的影响[J].青海大学学报（自然科学版）,2007,25(5):32–34,38.
[16] 虞泽鹏,吴晋强.饲喂 Zn-Met 水平对肉用仔鸡生产性能及组织器官锌含量和碱性磷酸酶(AKP)活性的影响[J].饲料博览,2002(5):1–3.
[17] 张利环,杨瑞娟,杨燕燕,等.铁和维生素 A 及其互作效应对蛋鸡肝脏和血清铁、锌含量及表观存留率的影响[J].饲料工业,2011,32(9):8–11.

Effects of Zinc Supplemental Level on Tissue and Organ Zinc Deposition and Tibia Indexes of *Jinghong* No.1 Layer Hens during Laying Peak Period

ZHENG Aijuan[1]　CHEN Jiang[1]　CAI Huiyi[1,2]　CHEN Zhimin　CHANG Wenhuan　ZHANG Shu　DENG Xuejuan[2]　LIU Guohua[1*]

(1. *The Key Laboratory of Feed Biotechnology of Ministry of Agriculture*, *Feed Research Institute*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100081; 2 *National Engineering Research Center for Biological Feed Development*, *Beijing* 100081, *China*)

Abstract: The present study evaluated the effects of zinc supplemental level on tissue and organ zinc deposition and tibia indexes by adding different levels of zinc into the basal diet of *Jinghong* No.1 layer hens during laying peak period. Five hundred and forty 20-week-old healthy *Jinghong* No.1 layer hens were randomly allotted to 6 groups with 6 replicates per group and 15 layer hens per replicate. Birds in control group was fed a basal diet (contained 25 mg/kg zinc), and birds in trial groups were fed experimental diets which added 25, 50, 75, 100 and 125 mg/kg zinc (using sulfate zinc monohydrate as zinc source) on the basis of the basal diet. The pre-feeding period was 2 weeks and the experimental period was 24 weeks. The results showed as follows: 1) added different levels zinc into diets significantly or extremely significantly enhanced the serum zinc content of *Jinghong* No.1 layer hens at the end of 33 weeks of age (*P*<0.01), but it did not significantly affect the serum zinc content at the end of 46 weeks of age (*P*>0.05). 2) Added different levels zinc into diets extremely significantly affected the liver zinc content of *Jinghong*

*Corresponding author, professor, E-mail: liuguohua@caas.cn　(责任编辑　菅景颖)

No.1 layer hens at the end of 46 weeks of age (P<0.01), and the liver zinc content was enhanced as the zinc supplemental level increasing, but did not significantly affect the muscle and pancreas zinc content (P>0.05). 3) Added different levels zinc into diets did not significantly affect the tibia indxes including tibia weight, fat free weight, tibia ash weight, tibia zinc content and tibia ash zinc content of *Jinghong* No.1 layer hens at the end of 46 weeks of age (P>0.05). 4) Added different levels zinc into diets extremely significantly affected the feces zinc content and zinc apparent availability of *Jinghong* No.1 layer hens at the end of 46 weeks of age (P<0.01), the feces zinc content was enhanced and the zinc apparent availability was reduced as the zinc supplemental level increasing. Comprehensive consideration, the optimal supplemental level of zinc is 75 mg/kg using sulfate zinc monohydrate as zinc source in the basal diet containing 25 mg zinc of *Jinghong* No.1 layer hens during laying peak period.

Key words: zinc sulfate; layer hens; zinc deposition; tibia indexes